Una introducción al estudio del vuelo planeado en las aves

Marcelo Stucchi Portocarrero
Asociación para la Investigación y Conservación de la Biodiversidad - AICB
https://sites.google.com/site/aicbperu/
aicb.peru@gmail.com

Publicado en: http://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/
jueves 9 de Agosto de 2012

Pelícanos planeando sobre Tuquillo. Foto del autor

En nuestro medio cada día existe más interés en el estudio de las aves. El último congreso de ornitología, llevado a cabo en Cusco el año pasado (2011), convocó a más de mil participantes, lo que da una idea del auge de esta rama de la zoología entre los estudiantes y profesionales de biología y profesiones afines. En ese sentido, gracias a la invitación de la profesora Irma Franke para publicar en su página, me parece oportuno presentar este artículo, cuyo objetivo, como su nombre lo indica, es dar ciertas bases generales para la mejor comprensión del vuelo de las aves, característica que las resalta de los demás vertebrados. Lo natural que nos resulta ver volar a las aves, a veces, nos distrae de pensar en cómo lo hacen, y de considerar que es un proceso complejo, que tomó millones de años en formarse.

Por qué vuelan las aves: morfología del vuelo

El principio básico del vuelo es la sustentación en el aire. Para que este se de, deben cumplirse una serie de características morfológicas que permitan al ave sostenerse en un medio que tiene menor densidad y compensar la fuerza de gravedad. Si bien para muchos este es un tema nuevo, ya a mediados del siglo XVIII, el naturalista limeño Santiago de Cárdenas propuso cuales eran las características básicas que le permitían a un ave volar. Estas se pueden listar de la siguiente forma:

(1) El ala presenta su superficie inferior cóncava y su superficie superior convexa.
(2) Existe una inclinación delantera del ala al momento de volar: ángulo de ataque.
(3) El cuerpo del ave actúa como barrera para evitar el paso del aire entre las alas.
(4) Las plumas primarias sirven para controlar el aire que se escapa debajo del ala y para organizar el vuelo.
(5) El frente del ala lo forman el patagio, conjuntamente con las plumas primarias: borde de ataque.
(6) La cola sirve para dirigir el vuelo (timón) y como superficie adicional de sustento.
(7) El álula y las plumas secundarias apoyan en el sustento del vuelo.
(8) La cabeza y las patas ayudan a ascender o descender al ave.

Cárdenas llegó a estas conclusiones luego de estudiar por más de una década a los cóndores. Su objetivo fue proponer una máquina para volar, para la cual tuvo que estudiar a las aves, concluyendo que la única forma de hacerlo sería con el vuelo planeado (Cárdenas 1762, Stucchi 2012). Muchos años después, el inventor inglés George Cayley sentaría las bases de la aeronáutica, a partir de sus publicaciones que aparecen desde 1809, en donde refiere también la morfología y el vuelo de las aves con este propósito, pero sin la minuciosidad y el detalle de Cárdenas. Recién en 1889, el ingeniero

alemán Otto Lilienthal, escribirá su tratado del vuelo de las aves, que serviría en el desarrollo de la aviación.

En la actualidad se sabe que, en base al principio de Bernoulli, en el ala, el aire que pasa por la superficie superior presenta más velocidad y menos presión que la que pasa por la parte inferior. La mayor presión que presenta esta le permite la sustentación, que aumenta con el incremento del ángulo de ataque (fig. 1).

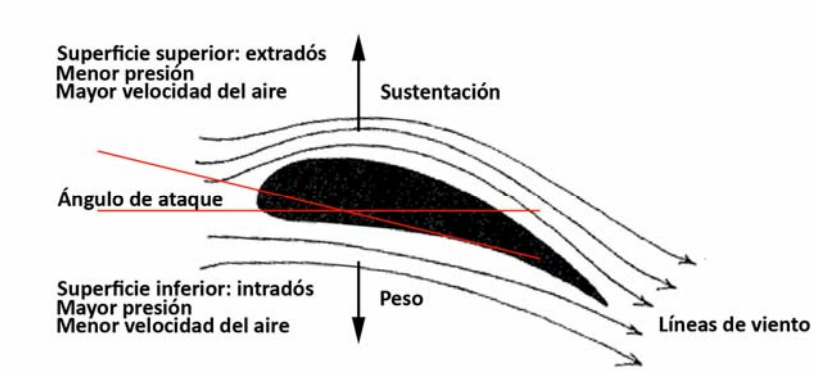

Figura 1. Perfil alar o aerodinámico. El frente del ala es el "borde de ataque". Figura modificada de http://intranet.matematicas.uady.mx/portal/leamos_ciencia/VOLUMEN_III/ciencia3/138/htm/sec_9.htm

Sin embargo, si el ángulo de ataque es muy pronunciado, se producirán turbulencias en la superficie superior del ala, que impedirán el vuelo. Ante esto, las aves tienen estructuras que les permiten contrarrestar el problema, como son el álula y la cola (fig. 2).

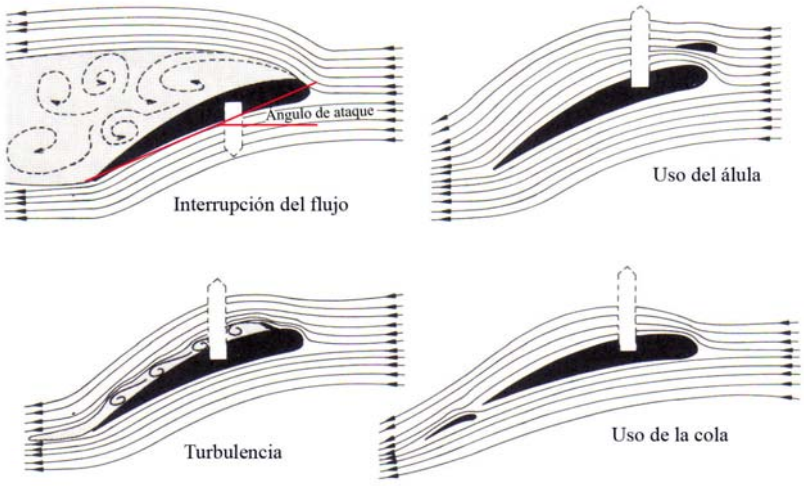

Figura 2. Mecanismos de sustentación del vuelo. Figura tomada de Tributsch (1982: 81).

Cómo vuelan las aves: los movimientos del vuelo planeado

Los movimientos de las aves en el vuelo planeado se realizan en tres ejes (fig. 3):

(1) Eje transversal: es el llamado movimiento de "cabeceo" ("encabritado", si es hacia arriba; "picada", si es hacia abajo). Es el movimiento hacia arriba o hacia abajo, de la parte frontal del cuerpo en vuelo. El ave lo controla con la cabeza y las patas. Cuando quiere descender o aterrizar estira el cuello y baja la cabeza, llevando las patas hacia adelante, para perder sustentación. Para mantener el equilibrio, ensancha la cola y aumenta el ángulo de ataque de las alas.

(2) Eje longitudinal: es el llamado movimiento de "balanceo". Es el movimiento hacia arriba o hacia abajo, de un ala con respecto a la otra en vuelo. El ave lo controla con las plumas secundarias, cambiando levemente el ángulo de ataque, combando las alas y con la cola.

(3) Eje vertical: es el llamado movimiento de "guiñada". Es el movimiento de giro, a la izquierda o a la derecha. El ave lo controla con la cola, la cual baja por el lado opuesto, esto es, si baja el lado

izquierdo, voltea a la derecha, y viceversa; y acortando el tamaño del ala interior (recogiéndola) o moviendo más rápido el ala exterior, con respecto a la otra.

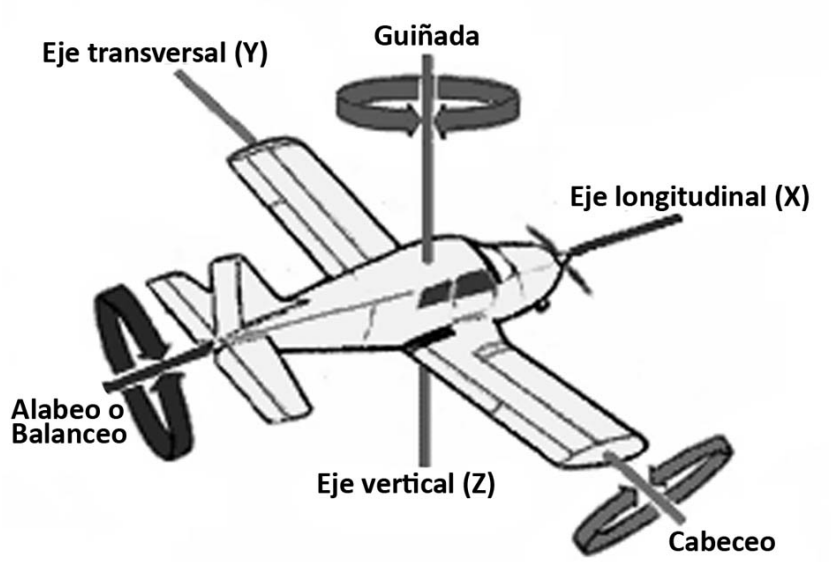

Figura 3. Los tres ejes de movimiento de un avión. Funciona igual en un ave.
Figura tomada de http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV15.html

Función de algunas partes del cuerpo del ave en el vuelo planeado:

(1) **Las plumas primarias**. En el caso de las aves que las tienen separadas, el biólogo estadounidense Carl Koford (1966:41) explicó su función de la siguiente forma: "Graham (1930) sugirió que los espacios entre las plumas actúan como los dispositivos similares del avión (winglets). A medida que el ángulo de ataque se incrementa, la elevación y el arrastre disminuyen. Al llegar a un cierto ángulo, la corriente de aire corta la dirección de la superficie superior del ala, y la elevación se pierde, por lo que el ala se estanca. Las ranuras modifican el flujo de aire de modo que esta siga teniendo elevación más allá de su ángulo normal de estancamiento. Los cóndores tienen múltiples espacios en la punta del ala. De acuerdo con Graham, en este tipo de punta del ala, las primarias están torcidas hacia adelante por la presión del aire, debido a que el vexilo de cada pluma sobresaliente del ala es más ancho en su lado posterior. Así, las primarias de adelante se encuentran con el aire en un menor ángulo de ataque que el resto del ala y no se detienen cuando la parte interior del ala lo hace. Graham sugirió que cada primaria desde su frente hasta su parte trasera cambia la corriente de aire hacia abajo, por lo que la pluma primaria situada detrás no tiene que girar mucho para obtener un ángulo de ataque similar. El resultado es que el flujo de aire es cambiado a través de un ángulo mayor de estancamiento del ala. A velocidades bajas, la punta del ala conserva la elevación y el ave mantiene el control".

(2) **El álula** tiene por función principal darle maniobrabilidad al vuelo, permitir el vuelo a baja velocidad y ayuda a la disminución de las turbulencias que se originan cuando el ángulo de ataque es muy grande (fig. 2).

(3) **La cola** participa en varios movimientos del vuelo. Primero, tiene una función importante en la sustentación (levante). Al momento de descender y aterrizar (eje transversal) o ante turbulencias, la cola se ensancha, dando más superficie de sustentación al vuelo (fig. 2). Esto también sucede en el vuelo lento, donde la cola se abre ampliamente para incrementar la fuerza de levante generada en las alas (González-Jaramillo y de la Cueva 2012:7).

Para la guiñada (eje vertical), la cola es inclinada hacia abajo en el lado opuesto a la dirección del giro. En este caso la cola funciona como timón en dar inicio al giro. A lo largo de un vuelo en círculos, la cola puede mantener su inclinación aunque a menudo se inclina rápidamente en la dirección opuesta ayudando a controlar el balanceo (eje longitudinal). Los cóndores jóvenes inclinan sus colas de un lado a otro cada pocos segundos como sobre-controlando su vuelo (Koford 1966: 42). La explicación de este comportamiento es que al bajar la cola a un lado, aumenta su ángulo de ataque y eso le da más sustentación a ese lado, originando que el opuesto baje y se incline (Meseguer y Sanz 2007: 151). Otra función de la cola es que "tiende a suavizar el contorno

de la parte trasera del cuerpo del ave, creando un objeto fuselado. Dar una forma ahusada a la zona de sotavento del cuerpo ayuda a recuperar las condiciones de barlovento, reduciendo en consecuencia la resistencia aerodinámica, hasta tal punto que quitar la cola a un ave puede aumentar la resistencia hasta un 25%" (Meseguer y Sanz 2007: 151).

Dónde vuelan las aves: Características del medio.

Una característica sobresaliente del vuelo de los cóndores, gallinazos, aves de rapiña, pelícanos, albatros, fragatas y otros grupos de aves, es su alta capacidad para planear. El planeo es un tipo de vuelo en el que el ave prácticamente no gasta energía. Pero este tipo de vuelo depende de las condiciones ambientales. Existen cuatro formas básicas en que se realizan estos vuelos: planeo ascendente (soaring), planeo descendente (gliding), planeo dinámico y planeo por efecto suelo.

(1) **El planeo ascendente** puede realizarse en dos condiciones ambientales específicas, esto es, utilizando las corrientes ascendentes térmicas o los vientos de ladera. Este tipo de vuelo se usa, básicamente, para ganar altura. Las térmicas se forman por el siguiente proceso: el calor del sol atraviesa la atmósfera sin calentarla, pero al llegar a la tierra, esta lo absorbe, elevando su temperatura. Al calentarse la tierra, va cediendo ese calor a la capa de aire que está en contacto suyo y la calienta. Al calentarse el aire, disminuye su densidad (porque a mayor temperatura, el aire se dilata y su masa disminuye en relación al volumen) y sube. Y el aire frío baja, originando las corrientes de aire ascendentes (fig. 4). Este es el llamado efecto de convección. Un ejemplo muy conocido y fácil de observar en la ciudad, son los gallinazos volando en círculos (fig. 5). Si uno se fija en ellos un rato, se podrá ver que conforme pasa el tiempo ganan altura.

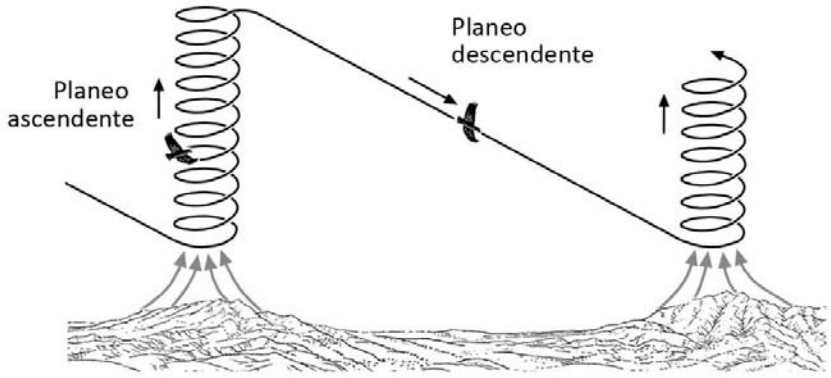

Figura 4. Planeo ascendente en térmica y descendente para ganar otra térmica.
Figura tomada de Chatterjee et al. (2007: 12401).

Figura 5. Gallinazos cabeza negra *Coragyps atratus* volando en círculos en Lima. Foto del autor.

Los vientos de ladera se generan en los cerros o acantilados y son aprovechados por las aves para volar, ya sea a lo largo de la pared de la ladera o en círculos en las partes altas de la misma. Debido al mismo principio de las térmicas, cuando el sol ya ha calentado el suelo, el aire asciende por la pared de la ladera durante el día, bajando por el centro del valle o traspasando el cerro. Durante la noche, cuando la temperatura general baja, el aire se mueve en sentido contrario (fig. 6). En algunas ocasiones, cuando los vientos ascienden por una de las paredes del acantilado, al llegar al borde, chocan con el viento que proviene del otro lado del cerro, creando zonas de circulación en las partes altas. Es por eso que muchas veces se puede ver aves volando como si estuvieran suspendidas en estos lugares, o volando en círculos. Así, la rapaz aprovecha para visualizar a sus posibles presas (figs. 7 y 8).

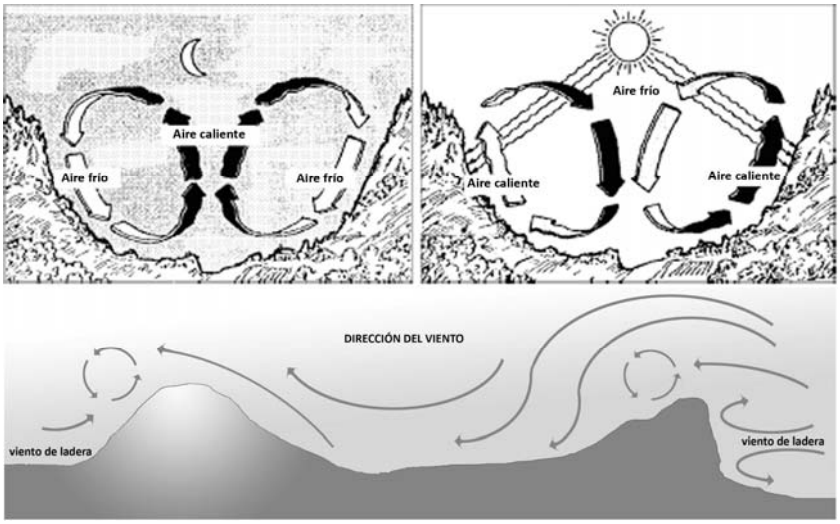

Figura 6. Distintas formas de vientos de ladera.
Figura superior, tomada de: http://www.energiasargentinas.com.ar/tipos%20de%20vientos.htm
Figura inferior, del autor.

Figura 7. Cernícalo *Falco sparverius* "suspendido" en el aire al borde del cañón del Colca. Foto de Judith Figueroa.

Figura 8. Halcón peregrino *Falco peregrinus* "suspendido" en el aire al borde de un cerro en Punta Coles. Foto de Judith Figueroa.

(2) **El planeo descendente** se usa como desplazamiento prolongado luego de un planeo ascendente, ya sea para movilizarse hacia un lugar de alimentación o para coger otra térmica, que le permita al ave avanzar. Este se puede dar luego de un planeo ascendente en una térmica (fig. 4). En el ejemplo anterior, luego de observar a los gallinazos volar un buen rato en círculos, se podrá ver como ellos se salen de las circunferencias y se alejan en línea recta, descendiendo lentamente.

Hace 100 años, el naturalista británico Ernest Hankin estudió los vuelos circulares de los buitres y rapaces de la India, y determinó algunas características interesantes (fig. 9):

a. Los círculos no son concéntricos. Conforme el viento es más fuerte, estos se superponen en un área menor.
b. La velocidad de vuelo no es la misma en todas las partes del círculo, generalmente, esta disminuye cuando el ave da la cara al viento (barlovento), para ganar altura. Por el contrario, se gana velocidad cuando el ave da la espalda al viento (sotavento), es decir se va con el viento y se desciende.
c. No en todos los círculos se gana altura.

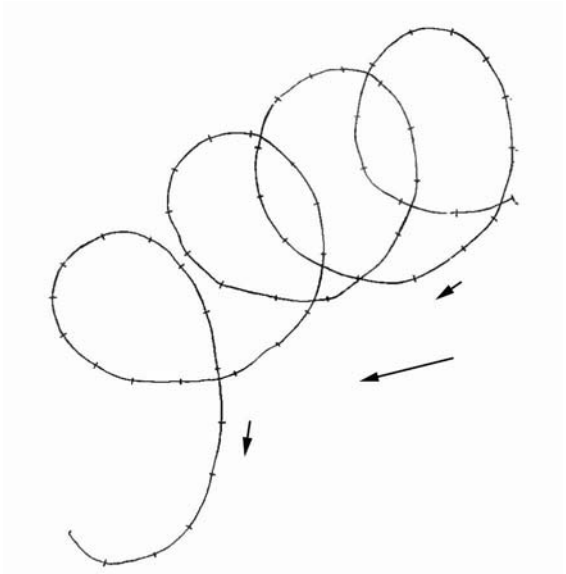

Figura 9: Trazo del vuelo planeado del milano negro *Milvus migrans govinda*. Las flechas indican la dirección y fuerza del viento. Las líneas pequeñas que cortan la línea curva larga indican la posición del ave cada segundo de vuelo. Nótese que cuando está a favor del viento recorre más espacio = mayor velocidad. El vuelo es de derecha a izquierda. Figura tomada de Hankin (1913:34).

Figura 10. Piqueros *Sula variegata* y gallinazos cabeza roja *Cathartes aura* volando en círculos sobre la pampa de la isla Lobos de Tierra. Foto del autor.

Figura 11. Aves volando en círculos sobre un acantilado en las islas Lobos de Afuera. Foto del autor.

(3) **El planeo dinámico**, utilizado especialmente por los albatros, aprovecha las diferencias de velocidades en las distintas capas de aire sobre el mar, que tienden a aumentar con la altura. El vuelo consiste en ganar altura de cara al viento, girando cuando ya no se puede subir más, para bajar planeando con el viento a favor, hasta llegar a un punto en donde se vuelve a iniciar el ciclo. Es sencillo ganar altura cuando se está abajo porque la velocidad del viento es menor en esa zona. Este sistema les permite a las aves volar grandes distancias sin gastar energía (fig. 12).

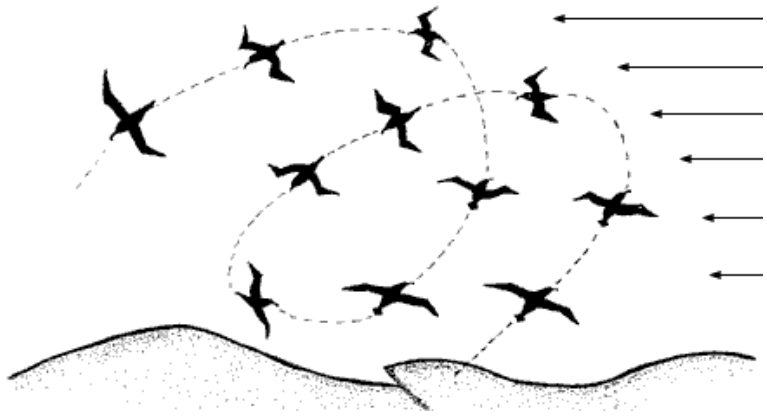

Figura 12. Planeo dinámico. Figura tomada de
http://intranet.matematicas.uady.mx/portal/leamos_ciencia/VOLUMEN_III/ciencia3/138/htm/sec_9.htm

(4) **El planeo por efecto suelo**, consiste en volar muy cerca de una superficie plana, ya sea tierra o mar. El efecto se describe de la siguiente forma: como se explicó anteriormente, cuando el ave está volando, la presión bajo las alas es mayor que sobre las mismas. Esta diferencia de presiones produce la sustentación, pero además, debido a que el movimiento del ala no es recto, se forman corrientes de aire perpendiculares a la dirección del viento incidente, que recorren el ala en toda su envergadura, hacia las áreas de menor presión. Al llegar a los extremos del ala (las puntas), se escapan en forma de torbellinos. Estos, a su vez, crean una corriente de aire hacia abajo, detrás del ala, que origina resistencia. Cuando el ave vuela muy cerca de la superficie, tanto los torbellinos como la corriente, son desviados y la resistencia inducida se reduce, facilitando el vuelo. Este efecto puede aumentarse si el ave eleva su ángulo de ataque, originando aún mayor sustentación (fig. 13). Es una forma muy común de volar para los pelícanos, fácilmente apreciable en las playas (fig. 14).

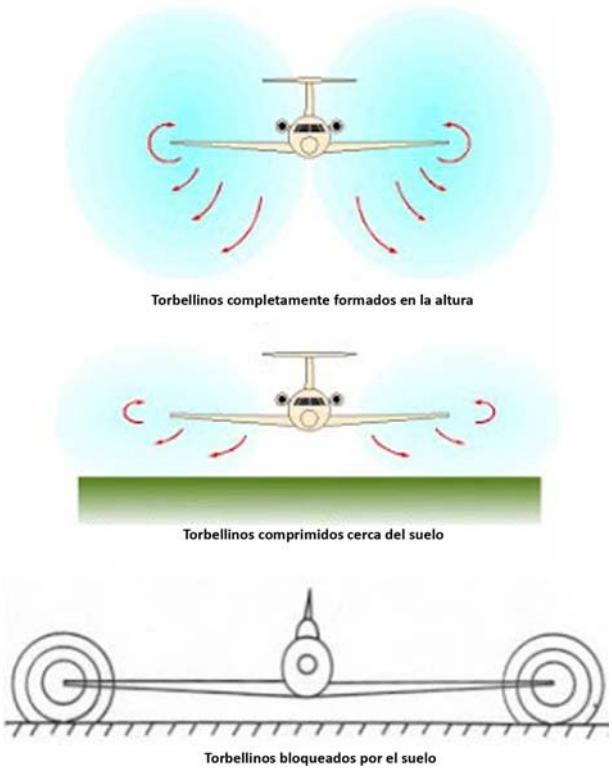

Figura 13. Efecto suelo. Funciona de manera similar en un ave y un avión.
Figura tomada de http://juandelacuerva.blogspot.com/2008/04/efecto-suelo.html

Figura 14. Efecto suelo. Pelícanos volando al ras del mar, frente a Salaverry. Foto de Judith Figueroa.

Algunos ejemplos de planeadoras eficientes
Cathartidae vs. Diomedeidae

Si bien casi todas las aves tienen la capacidad de planear, entre las reconocidas como las mejores planeadoras están los cóndores y gallinazos (Cathartidae) y los albatros (Diomedeidae). Estos tienen dos formas distintas de planear, dependiendo de su diferente morfología y, como ya se vio, del medio en el que vuelan. Las diferentes especies de Cathartidae tienen envergaduras que varían entre 1.5 a más de 3 metros, y son los planeadores de térmicas por excelencia, mientras que las especies de Diomedeidae, que sobrepasan con facilidad los 3 m, usan el planeo dinámico.

El ornitólogo estadounidense Robert Murphy (1925: 189) los describió así: "El albatros errante, a diferencia del cóndor, es un ave funcionalmente sin cola, que tiene que mantener su dirección y ajustes de vuelo con sus alas. El cóndor es un ágil volador flexible; el albatros es un planeador rígido. En una brisa muy ligera, las alas anchas y cola en forma de abanico del cóndor son capaces de elevarlo lentamente y con relativa firmeza, en el mismo aire el albatros de alas estrechas tendría que ladearse continuamente, o batir sus alas. Esta es la explicación del vuelo errático y balanceante de los albatros y petreles. El albatros grande es, por supuesto, incomparablemente más rápido que el cóndor. Su peso no es más de la mitad que el del cóndor y sus músculos pectorales mucho más pequeños. En efecto, el albatros sólo necesita del músculo y tendón suficientes para bloquear sus alas en la posición correcta y, a continuación, a menos que el aire sea bastante tranquilo, su maravilloso control del momento gravitatorio le permite ir a donde quiera".

Por otro lado, el biólogo estadounidense Fritz Hertel (1992: 416-417) explicó la relación de la forma del cuerpo de las diferentes especies de Cathartidae, con sus hábitos. "Aves con alas largas y anchas, y colas relativamente cortas están bien adaptadas para el vuelo planeado. Al contrario, las aves con alas relativamente cortas y redondeadas, y colas relativamente largas, son mejores maniobrando y están mejor adaptadas para ambientes boscosos. Así, la forma del cuerpo parece reflejar aspectos de la elección del hábitat y comportamiento del vuelo en las aves. El cóndor de California *Gymnogyps californianus*, el buitre real *Sarcoramphus papa* y el cóndor andino *Vultur gryphus* son mayormente observados planeando a mayores altitudes que los pequeños gallinazos. El gallinazo cabeza negra *Coragyps atratus* tiene un perfil más elíptico del ala que el gallinazo cabeza roja *Cathartes aura* y usualmente planea sobre este, a menudo, usándolo como señal para localizar el alimento. Entre los gallinazos, el de cabeza amarilla *C. melambrotus* tiene el perfil alar más redondeado (y cola relativamente más larga) y prefiere ambientes más boscosos".

Figura 15. Albatros *Phoebastria irrorata* volando sobre el mar, frente a la costa central peruana. Foto de Judith Figueroa.

Figura 16. Cóndor andino *Vultur gryphus* planeando al borde de acantilado en el cañón del Colca. Foto del autor.

Figura 17. Gallinazos cabeza roja *Cathartes aura* planeando junto al faro de Punta Coles. Foto del autor.

Las Aves Fragatas

Tal vez las aves que mejor han desarrollado la técnica del planeo son las fragatas o tijeretas (Fregatidae). Ya Santiago de Cárdenas lo señaló en su manuscrito de 1762: ''...su modo de volar es tan prodigioso, que se puede decir que es el Señor de todas de las aves que vuelan sin aletear", "...parece que este pájaro es de privilegio el no aletear; él gira todas las líneas sin deformar la posición o figura de sus alas, a él no le corrompe ni altera el más agrio temporal. Para salir avante contra el aire él no usa de los movimientos de desplanaciones ni voltejeo; es en una palabra inmutable, inalterable. Él persigue a los pajaruelos que sacan el peje del centro del mar hasta quitárselo, siguiendo sus inversiones que hacen para la natural defensa de sus alimentos, y todo sin aletear. Como he dicho su figura, él usa de una ciaboga que cuando le conviene se queda estático".

Las fragatas pueden tener una envergadura de alrededor de 2 m y una cola fuertemente bifurcada. Están adaptadas para permanecer en el aire de forma continua, día y noche, durante períodos prolongados, aprovechando las térmicas sobre el mar y los vientos alisios, bajo las nubes cúmulos, para remontarse a grandes distancias a muy bajo costo energético. El gran área de sus alas con respecto a su escaso peso, es una adaptación para este tipo de vuelo, así como para circular en térmicas estrechas. El despegue parece ser posible sólo dejándose caer desde una percha elevada, y no desde la superficie del suelo o el agua (Pennycuik 1983).

Debido a sus diferencias de tamaño y comportamiento reproductivo, los machos presentan un vuelo ágil y las hembras son mejores planeadoras; pero ambos presentan similar capacidad para la maniobrabilidad (González-Jaramillo y de la Cueva 2012).

Figura 18. Fragatas volando en Puerto López, Ecuador. Foto del autor.

Pero, todas estas grandes aves debieron parecer pichones al lado de los gigantes del pasado, planeadores por excelencia, cuyo vuelo solo podemos imaginar: Pelagornithidae y Teratornithidae, que serán motivo de un siguiente artículo.

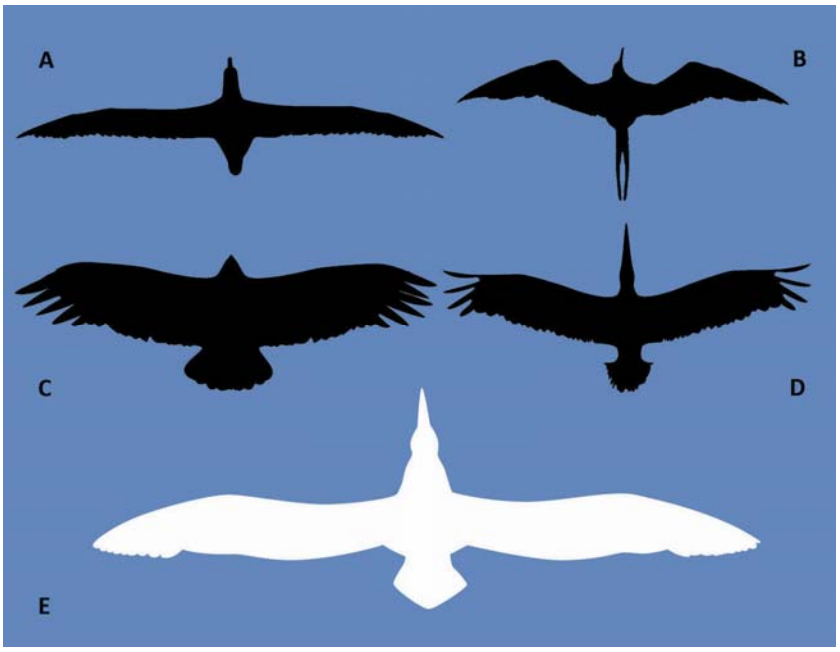

Figura 19. Siluetas de aves planeadoras. A: albatros. B: fragata. C: Cóndor. D: pelícano. E: Pelagornithidae (extinto). Figura del autor . A y D: de internet. B: Pennycuik (1983:310). C y E: originales.

* Agradecimiento a Judith Figueroa por el préstamo de sus fotos y la revisión del texto.

Bibliografía

CÁRDENAS, Santiago de. 1937 [1762]. Nuebo sistema de Nabegar por los Aires sacado delas obserbaciones dla Naturalesa Bolatil. Imprenta Torres Aguirre. Lima. 277 pp.

CAYLEY, George. 1809. On Aerial Navigation. Nicholson´s Journal. Noviembre 1809.

CHATTERJEE, Sankar, TEMPLIN, Jack y CAMPBELL, Kenneth, Jr. 2007. The aerodynamics of *Argentavis*, the world's largest flying bird from the Miocene of Argentina. PNAS 104(30): 12398-12403.

GONZÁLEZ-JARAMILLO, Mónica y DE LA CUEVA, Horacio. 2012. Influencia de la asimetría de las rectrices exteriores en la eficiencia de vuelo del Rabihorcado (*Fregata magnificens*). HUITZIL 13(1): 6-16

HANKIN, Ernest H. 1913. Animal Flight. A record of Observation. London Iliffe & Sons Ltd., 20, Tudor Street, E.C. 405 pp.

HERTEL, Fritz. 1992. Morphological diversity of past and present New World vultures. En Papers in Avian Paleontology Honoring Pierce Brodkorb. Los Angeles County Museum Science Series, 36: 413-418. Editado por Kenneth Campbell, Jr.

KOFORD, Carl L. 1966 [1953]. The California Condor. Dover Edition. Toronto. 154 pp.

LILIENTHAL, Otto. 2003 [1889]. Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Ein Beitrag zur Systematik der Flugtechnik. Berlín.

MESEGUER RUIZ, José y SANZ ANDRÉS, Angel. 2007. Aerodinámica del vuelo: aves y aeronaves. Cuadernos AENA - Aeropuertos españoles y navegación aérea. Estudios Gráficos Europeos. Madrid. 183 pp.

MURPHY, Robert C. 1925. Bird islands of Peru. G.P. Putnam´s Sons. New York & London. The Knickerbocker Press. 362 pp.

PENNYCUICK, Colin L. 1983. Thermal soaring compared in three dissimilar Tropical Bird species, *Fregata magnificens*, *Pelecanus occidentals* and *Coragyps atratus*. Journal of Experimental Biology 102; 307-325.

STUCCHI, Marcelo. 2012. Primeras observaciones de la biología del cóndor andino en el Perú: los estudios de Santiago de Cárdenas, Lima - siglo XVIII. Asociación para la Investigación y Conservación de la Biodiversidad. Lima. 39 pp.

TRIBUTSCH, Helmut. 1982. How life learned to live. Adaptation in Nature. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London. 218 pp.

Gallinazo planeando en Tortugas. Foto del autor.

Piquero planeando en Lobos de Tierra. Foto del autor.